

DERWENT-ACC-NO: 1987-051349

DERWENT-WEEK: 198708

COPYRIGHT 1999 DERWENT INFORMATION LTD

TITLE: Sagnac-effect optical-fibre  
rotational speed measuring  
instrument - has monomode filter to  
reduce phase shifts  
caused by fluctuations in double  
refraction of fibre

INVENTOR: JONES, E; PARKER, J W

PATENT-ASSIGNEE: INT STANDARD ELECTRIC CORP[INTT] , STC  
PLC[STTE]

PRIORITY-DATA: 1985GB-0020347 (August 14, 1985)

PATENT-FAMILY:

PUB-NO	PAGES	PUB-DATE	MAIN-IPC
DE 3626714 A		February 19, 1987	N/A
005	N/A		
FR 2586293 A		February 20, 1987	N/A
000	N/A		
GB 2179140 A		February 25, 1987	N/A
000	N/A		
GB 2179140 B		August 16, 1989	N/A
000	N/A		
JP 62039712 A		February 20, 1987	N/A
000	N/A		

APPLICATION-DATA:

PUB-NO	APPL-DATE	APPL-DESCRIPTOR	APPL-NO
DE 3626714A		N/A	
1986DE-3626714		August 7, 1986	
GB 2179140A		N/A	
1985GB-0020347		August 14, 1985	
JP 62039712A		N/A	
1986JP-0188790		August 13, 1986	

INT-CL (IPC): G01C019/58, G01J009/02 , G01P003/36 ,

G01P009/00 ,  
H01S003/08

ABSTRACTED-PUB-NO: DE 3626714A

BASIC-ABSTRACT:

The instrument has a light source (S), the optical fibre (F) acting as a sensor, and an analyser (D) which evaluates the Sagnac effect in the signals from the optical fibre. The light passes through the monomode filter both before and after passing through the optical fibre. A dispersion element (BSMG) reduces unwanted signals caused by interference between the transmitted and received signals.

Pref. the dispersion element is a double-refractive element and the polarisation dispersion is comparable with or greater than the coherence length of the source.

ABSTRACTED-PUB-NO: GB 2179140B

EQUIVALENT-ABSTRACTS:

A Sagnac-effect device comprising a sensor optical waveguide, a source for sending signals to the sensor optical waveguide, a detector arranged to detect the signals received from the sensor waveguide in such manner as to be subject to the Sagnac effect, single-mode filter arranged to carry the sent and received signals and a polarisation dispersion element having a dispersion exceeding the source coherence length arranged to reduce unwanted signals caused by interference between the sent and received signals.

CHOSEN-DRAWING: Dwg.2/4

TITLE-TERMS: SAGNAC EFFECT OPTICAL FIBRE ROTATING SPEED  
MEASURE INSTRUMENT  
MONOMODE FILTER REDUCE PHASE SHIFT CAUSE  
FLUCTUATION DOUBLE REFRACT  
FIBRE

DERWENT-CLASS: S02 V07

EPI-CODES: S02-B07; S02-G01A; V07-N01;

SECONDARY-ACC-NO:

Non-CPI Secondary Accession Numbers: N1987-038943

①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

①2 Offenlegungsschrift  
①1 DE 3626714 A1

⑤1 Int. Cl. 4:  
G01C 19/58  
G 01 P 9/00

②1 Aktenzeichen: P 36 26 714.7  
②2 Anmeldetag: 7. 8. 86  
④3 Offenlegungstag: 19. 2. 87



DE 3626714 A1

⑤1 // G02B 6/00

③0 Unionspriorität: ③2 ③3 ③1  
14.08.85 GB 8520347

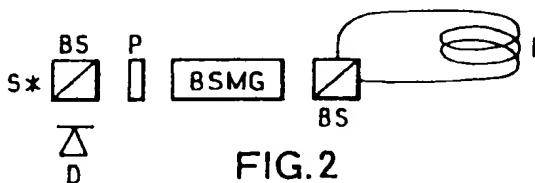
⑦1 Anmelder:  
International Standard Electric Corp., New York,  
N.Y., US

⑦4 Vertreter:  
Graf, G., Dipl.-Ing., Pat.-Ass., 7000 Stuttgart

⑦2 Erfinder:  
Jones, Emlyn, Harlow, Essex, GB; Parker, James  
Wilson, Bishop's Stortford, Hertfordshire, GB

⑤4 Optische Meßeinrichtung, bei der der Sagnac-Effekt ausgewertet wird

Bei einer reziprok aufgebauten faseroptischen Drehgeschwindigkeitsmeßeinrichtung wird ein Monomodefiter (P) dazu verwendet, Phasenverschiebungen, die durch Schwankung der Doppelbrechung des Sensorwellenleiters (F) verursacht werden, zu reduzieren. In der Nähe des Filters (P) ist ein doppelbrechendes Bauelement (BSMG) angeordnet, dessen Dispersion größer als die Kohärenzlänge der Lichtquelle (S) der Meßeinrichtung ist. Dadurch werden unerwünschte Phasenverschiebungen reduziert, was zur Folge hat, daß die Ansprüche an das Modenfilter (P) nicht mehr so groß sein müssen.



DE 3626714 A1

1. Optische Meßeinrichtung, bei der der Sagnac-Effekt ausgewertet wird, insbesondere faseroptische Drehgeschwindigkeitsmeßeinrichtung, mit einer Lichtquelle (*S*), mit einem als Sensor dienenden optischen Wellenleiter (*F*), mit einer Empfangs- und Auswerteeinrichtung (*D*), in der aus den ihr von dem Sensorwellenleiter zugeführten Signale der Sagnac-Effekt ausgewertet wird, mit einem Monomodefilter, das von den Lichtsignalen sowohl vor als auch nach dem Durchlaufen des Sensorwellenleiters durchlaufen wird und mit einem Dispersionselement (*BSMG*), das zur Reduzierung von unerwünschten Signalen dient, welche durch die Interferenz zwischen Sende- und Empfangssignalen verursacht werden.
2. Meßeinrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das Dispersionselement doppelbrechend ist und die Polarisationsdispersion mit der Kohärenzlänge der Lichtquelle vergleichbar oder größer als diese ist.
3. Meßeinrichtung nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß das Dispersionselement (*BSMG*) zwischen dem Modenfilter (*P*) und dem Sensorwellenleiter (*F*) angeordnet ist.
4. Meßeinrichtung nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß das Dispersionselement (*BSMG*) zwischen einerseits dem Modenfilter (*P*) und andererseits der Lichtquelle (*S*) und der Empfangs- und Auswerteeinrichtung (*D*) angeordnet ist.
5. Meßeinrichtung nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß das Modenfilter (*BP*) so ausgestaltet ist, daß es auch das Dispersionselement enthält.
6. Meßeinrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das Dispersionselement ein doppelbrechender Monomode-Wellenleiter oder einen enthält.

## Beschreibung

Die Erfindung geht aus von einer optischen Meßeinrichtung, bei der der Sagnac-Effekt ausgewertet wird, insbesondere eine faseroptische Drehgeschwindigkeitsmeßeinrichtung.

Eine solche Meßeinrichtung ist bekannt. Bei einer faseroptischen Drehgeschwindigkeitsmeßeinrichtung wird von einer Lichtquelle ein Lichtstrahl abgegeben, dieser Lichtstrahl in zwei Teilstrahlen aufgeteilt und die beiden Teilstrahlen durchlaufen eine spulenförmig angeordnete Lichtleitfaser gegensinnig. Nach dem Durchlaufen der Lichtleitfaser werden die beiden Teilstrahlen in dem Strahlteiler einander überlagert und der so erzeugte Lichtstrahl wird einem Fotodetektor zugeführt. In diesem wird aus der durch den Sagnac-Effekt bedingten Phasenverschiebung die Drehgeschwindigkeit ermittelt. Eine solche Meßeinrichtung ist bekannt aus "Sensitivity analysis of the Sagnac-effect optical-fibre ring interferometer" by Shih-Chun Lin und Thomas G. Giallorenzi in *Applied Optics*, Band 18 Nr. 6, 15. März 1979. Wenn die Ausgangssignale einander überlagert werden, dann entstehen ringförmige Muster. Bei einem stationären System entsteht ein feststehendes Muster, dessen Form von den Eigenschaften der Abbildungs-optik abhängt. Wenn sich die Meßeinrichtung um die Spulenachse dreht, dann ändert sich die Lage der Ringe und durch eine geeignete Auswertung kann die Drehge-

schwindigkeit ermittelt werden.

Abhängig von den physikalischen Eigenschaften des Systems (z. B. Betriebswellenlänge  $\lambda$ , Länge der Lichtleitfaser, usw.) und der Drehgeschwindigkeiten, die gemessen werden sollen, erhält man Systeme, bei denen die Auswertung von einem einzelnen Ring oder von mehreren Ringen ins Auge gefaßt werden kann.

Eine mögliche Realisierung der Drehgeschwindigkeitsmeßeinrichtung weist einen reziproken Aufbau auf. Eine solche Meßeinrichtung ist bekannt aus dem Artikel von R. Ulrich "Fibre optic rotation sensing with low drift", *Optics Letters* Nr. 5 (5), Mai 1980, Seiten 173—175. Ein Schlüsselbauelement des reziproken Aufbaus ist das Monomode-Filter (sowohl bezüglich des Raums als auch der Polarisation), welches den gemeinsamen Ein/Ausgangsanschluß des Sagnac-Interferometers darstellt und welches Phasenverschiebungen infolge von Veränderungen der Doppelbrechung in der Lichtleitfaser unterdrückt. Aus der Literatur (z. B. E. C. Kintner, "Polarisation control in optical-fibre gyroscope", *Optics Letters* 6 (3), März 1981, Seiten 154—156, ist zu entnehmen, daß für eine Lichtwelle mit einer großen Kohärenzlänge die Phasenverschiebung durch das Modenfilter nur schwach unterdrückt werden kann, so daß beispielsweise ein Filter mit einer Auslöschung von 80 dB die Phasenverschiebung nur um einen Faktor von  $10^4$  reduziert.

In der deutschen Patentanmeldung P 32 39 068 ist ein Phasenmodulator beschrieben, (abgeleitet von der reziproken Minimalanordnung für ein Homodynfasergyroskop) bei dem zwei optische Phasenmodulatoren symmetrisch angeordnet sind in bezug auf die Lichtleitfaser. Dieser wirkt zusammen mit einer synchron geschalteten Lichtquelle. Dies ermöglicht sowohl eine Phasenmodulation als auch eine bestimmte Phasenverschiebung. Bei einer praktischen Realisierung der Drehgeschwindigkeitsmeßeinrichtung wird eine Phasenregelschleife gebildet und das Interferometerausgangssignal wird auf einen bestimmten Wert geregelt. Die Drehgeschwindigkeit ist proportional zu dem Regelsignal.

Eine Modifizierung dieses Systems ist in der englischen Patentanmeldung 83 01 654 beschrieben, bei dem man eine Verbesserung durch die Verwendung PZT-Phasenmodulatoren erhält. Um das gewünschte Wechselspannungssignal am Ausgang zu erhalten, wird das Ausgangssignal des Photodetektors abgetastet.

Aufgabe der Erfindung ist es, bei einer optischen Meßeinrichtung, bei der der Sagnac-Effekt ausgewertet wird, die Phasenverschiebungsunterdrückung zu verbessern.

Die Erfindung wird anhand der Zeichnungen beispielsweise näher erläutert. Es zeigt:

Fig. 1 ein vereinfachtes Blockschaltbild einer Minimalanordnung für einen faseroptischen Drehgeschwindigkeitsmeßeinrichtung mit reziprokem Aufbau wie von R. Ulrich in der zitierten Literaturquelle beschrieben, und

Fig. 2 bis 4 vereinfachte Blockschaltbilder für die Modifizierung gemäß der Erfindung.

In dem Blockschaltbild der Fig. 1 sind von der faseroptischen Drehgeschwindigkeitsmeßeinrichtung mit reziprokem Aufbau die Lichtquelle *S* und ein Fotodetektor *D*, ein Polarisator und Monomode-Filter *P*, ein erster Strahlteiler *BS1* und ein zweiter Strahlteiler *BS2* und weiterhin der Sensorwellenleiter dargestellt. Der Sensorwellenleiter ist in Form einer spulenförmig angeordneten Lichtleitfaser *F* realisiert. Andere Bauelemente

wie z. B. optische Modulatoren, Depolarisatoren und die elektronischen Bauelemente, die zur Auswertung benötigt werden, sind der Einfachheit halber wegen weggelassen.

Als Lichtquelle  $S$  kann ein Festkörperlaser oder ELED verwendet werden. Als Strahlteiler kann eine PIN-Diode oder eine Avalanche-Fotodiode verwendet werden. Die Strahlteiler  $BS1$  und  $BS2$  können Faserkoppler sein oder sie können auch in der Technik der integrierten Optik als Richtkoppler realisiert sein oder sie können auch in Form von y-förmigen Verbindungen realisiert sein. Der Polarisator und Monomode-Filter  $P$  kann in bekannter Weise ein einzelnes Bauelement sein, das als Faserpolarisator oder als Polarisator, realisiert in der Technik der integrierten Optik, verwendet werden kann. Diese Bauelemente sind doppelbrechend.

Bei der Erfindung wird eine genügend große Polarisationsdispersion erzeugt; sie ist so gewählt, daß sie die Kohärenzlänge der Lichtquelle um einen Betrag überschreitet, der groß genug ist, daß Paare von Wellen nicht mehr kohärent sind, welche sonst eine unerwünschte Phasenverschiebung in dem faseroptischen Drehgeschwindigkeitsmesser, verursacht durch die Doppelbrechung in der Faser, erzeugen würde.

Ein erstes Ausführungsbeispiel der neuen Anordnung ist in der Fig. 2 dargestellt. In der Fig. 2 wie auch nachfolgend in den Fig. 3 und 4 weisen gleiche Bauelemente gleiche Bezugszeichen wie in Fig. 1 auf. Bei dem Ausführungsbeispiel nach Fig. 2 ist ein doppelbrechender Monomode-Wellenleiter  $BSMG$  dem Polarisator  $P$  nachgeschaltet.

Bei dem Ausführungsbeispiel nach Fig. 3 ist ein doppelbrechender Monomode-Wellenleiter  $BSMG$  dem Polarisator  $P$  vorgeschaltet. Bei beiden Ausführungsbeispielen nach Fig. 2 und Fig. 3 kann der doppelbrechende Monomode-Wellenleiter ein Stück einer stark doppelbrechenden Lichtleitfaser oder ein Stück eines Wellenleiters, realisiert in der Technik der integrierten Optik, in einem doppelbrechenden Substrat wie z. B. Lithiumniobat sein.

Bei dem dritten Ausführungsbeispiel nach Fig. 4 weist ein doppelbrechender Polarisator  $BP$  eine genügend große Länge auf, so daß seine Polarisationsdispersion die Kohärenz der Lichtquelle übertrifft. Der doppelbrechende Polarisator  $BP$  ersetzt den Polarisator  $P$  bei dem Ausführungsbeispiel nach Fig. 1. Der doppelbrechende Polarisator  $BP$  kann ein Stück einer polarisierenden Faser oder eines Polarisators, realisiert in der Technik der integrierten Optik, sein.

Nachfolgend erfolgt eine kurze Erklärung der Funktionsweise. Bei vielen praktischen Ausführungsbeispielen von faseroptischen Drehgeschwindigkeitsmeßeinrichtungen ist das Modenfilter eine polarisationserhaltende Faser oder ein Stück eines optischen Chips. In solchen Fällen ist das Filter doppelbrechend und es ist umgeben von doppelbrechenden Elementen. Deren Moden sind sehr ähnlich zu denen des Filters. Es wurde gezeigt, daß wenn die Dispersion in dem doppelbrechenden Bauelement die Kohärenzweite der Lichtquelle überschreitet, die meisten der doppelbrechenden Phasenverschiebungsterme reduziert werden im Verhältnis zur Kohärenzfunktion der Lichtquelle. Die verbleibenden Terme werden stark unterdrückt durch das Modenfilter, so daß beispielsweise ein Filter mit einer 40 dB Auslöschung dieser Terme um einen Faktor  $10^4$  reduziert. Für Zwecke der Erklärung wird angenommen, daß die Eigenmoden von Filter und doppelbrechendem Bauelement identisch sind. Die beiden polarisierten Moden

werden mit  $x$  und  $y$  bezeichnet, wobei  $x$  der Mode ist, der von dem Modenfilter durchgelassen wird (oder Polarisator) und  $y$  ist die Bezeichnung für den gedämpften. Die Zeit für den Mode  $x$  zum Passieren des doppelbrechenden Bauelements ist  $\tau_x$ ; die für den Mode  $y$  ist  $\tau_y$ . Somit sind nach dem Durchlaufen dieses Elements die  $x$ - bzw.  $y$ -Moden zeitlich getrennt durch einen Wert  $\tau_x - \tau_y$ . Betrachtet man nun das Licht, das nach dem Durchlaufen des Fasersendersensors  $F$  zu dem Filter in dem  $x$ -polarisierten Mode zurückkehrt. Wegen der Verkopplung zwischen den Moden in der Sensorspule  $F$  und dem Strahlteiler  $BS2$ , haben sowohl der Lichtstrahl, der die Lichtleitfaser im Uhrzeigersinn (cw) und der Lichtstrahl, der die Lichtleitfaser entgegen dem Uhrzeigersinn (ccw) durchläuft, zwei Komponenten. Eine der Komponenten machte ihren ersten Durchlauf durch das Modenfilter in der  $x$ -Polarisationsrichtung und die andere in der  $y$ -Polarisationsrichtung. Es gibt daher (vernachlässigt man Reflexionen und Rückstreuung) insgesamt vier Komponenten für den Lichtstrahl, der zu dem Modenfilter  $BS2$  mit  $x$ -Polarisation zurückkommt. Diese sind nachfolgend wie folgt gekennzeichnet:

Mode während des ersten Durchlaufs durch das Moden-Filter	Ausbreitungsrichtung	Strahl-Nr.:
$x$	cw	1
$x$	ccw	2
$y$	cw	3
$y$	ccw	4

Betrachtet man nun das Ergebnis der Kombination dieser Komponenten. Die Interferenz der Strahlen 1 und 2 ergibt das gewünschte Ausgangssignal der Drehgeschwindigkeitsmeßeinrichtung und ist durch die Reziprozität frei von einer störenden Phasenverschiebung. Die Interferenz der Strahlen 2 und 3 sowie von 1 und 4 bilden zusammen den Anteil "erster Ordnung" wie er von R. L. Fredericks und R. Ulrich in ihrer Veröffentlichung "Phase error bounds of the gyro with imperfect polariser/depolariser", Electronics Letters 20 (8), 12. April 1984, Seiten 330 bis 332 beschrieben ist. Die Strahlen 1 und 2 sind jedoch auf die Strahlen 3 und 4 um einen Betrag  $\tau_x - \tau_y$  zeitlich verzögert und die Interferenzterme sind deshalb um  $\gamma(\tau_x - \tau_y)$  reduziert, wobei  $\gamma$  die Kohärenzfunktion der Lichtwelle ist. Die Strahlen 3 und 4 sind ein nichtreziprokes Paar, bei dem Kohärenz nicht beseitigt wurde; da sie jedoch beide durch das Modenfilter gedämpft wurden ist ihr Beitrag zu der Phasenverschiebung infolge der Doppelbrechung in zweiter Ordnung im Verhältnis der Amplitudenauslöschung.

Ähnliche Schlüsse kann man ziehen für die Lichtstrahlen, die in  $y$ -Polarisationsrichtung zurückgekommen sind, mit der Ausnahme, daß diese alle zumindest einmal durch das Modenfilter gedämpft wurden und somit Beiträge zweiter Ordnung oder kleiner bringen in bezug zu der Phasenverschiebung infolge der Doppelbrechung. Somit sind alle Beiträge zur Doppelbrechungsphasenverschiebung zumindest von zweiter Ordnung bei der Modenfilterauslöschung oder aber sie sind unterdrückt durch die Kohärenzfunktion.

Die hier vereinfacht dargestellte Erklärung kann bestätigt werden durch eine formale mathematische Analyse, bei der nicht davon ausgegangen wird, daß die Eigenmoden von Filter und Doppelbrechungselement identisch sind.

Diese Lehre ist nicht nur bei Drehgeschwindigkeitsmeßeinrichtungen anwendbar sondern auch bei anderen Meßeinrichtungen, bei denen der Sagnac-Effekt ausgewertet wird.

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

- Leerseite -

---

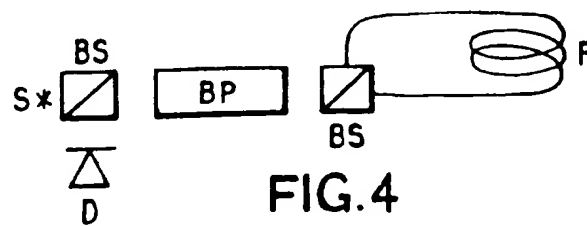
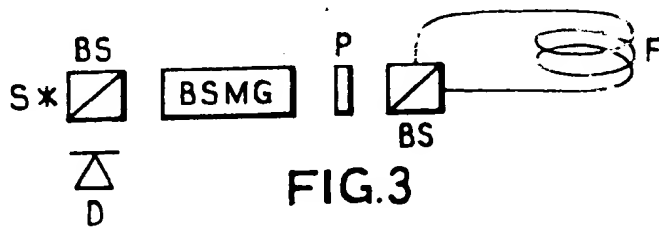
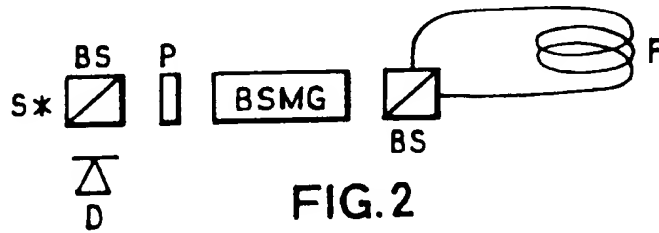
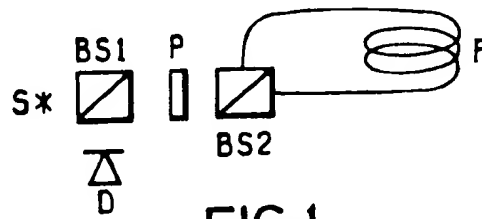


3626714

Nummer:  
Int. Cl.4:  
Anmeldetag:  
Offenlegungstag:

38 26 714  
G 01 C 19/58  
7. August 1986  
19. Februar 1987

1/1



(19)日本国特許庁(JP)

(12)公開特許公報(A)

(11)特許出願公開番号

特開平5-119360

(43)公開日 平成5年(1993)5月18日

(51)Int.Cl.<sup>5</sup>

識別記号

庁内整理番号

FI

技術表示箇所

G 0 2 F 1/35

7246-2K

H 0 1 S 3/18

9170-4M

審査請求 未請求 請求項の数19(全 8 頁)

(21)出願番号 特願平3-290751

(22)出願日 平成3年(1991)10月9日

(71)出願人 000001007

キャノン株式会社

東京都大田区下丸子3丁目30番2号

(72)発明者 藤井 和人

東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キャ

ノン株式会社内

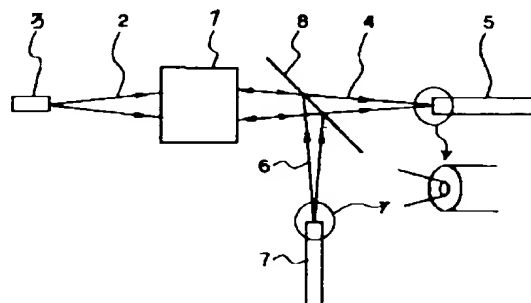
(74)代理人 弁理士 加藤 一男

(54)【発明の名称】 光素子間光結合装置

(57)【要約】

【目的】信号光を光検出器・光ファイバなどに高効率で結合できノイズの増加なしに信号光の増幅ができる光素子間光結合装置を提供する。

【構成】相反・非相反のファラデー素子の対により、偏波保存ファイバ7からのポンプ光6(TEモード)は、ビームスプリッター8を経てTMモードに変換されフォトリフラクティブ結晶1に入射する。TMモードの信号光2は反対側から結晶1に入射する。その結果、ポンプ光6の位相共役波4(TMモード)を発生し、この位相共役波4はビームスプリッター8を透過してTMモードで他の偏波保存ファイバ5に結合される。この位相共役波4は信号光2から情報を受け継いでおり、信号光として偏波保存ファイバ5へと伝送される。



1

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 双方向に信号光を伝送できる装置において、少なくとも光検出器及び光ファイバーを含む光素子に信号光を結合するためにフォトリフラクティブ結晶による位相共役波を用い、且つ一つの該フォトリフラクティブ結晶内で該光検出器からの信号光と該光ファイバーから出射された信号光の偏光が直交する様に構成されたことを特徴とする光素子間光結合装置。

【請求項2】 前記位相共役波を発生させるためのポンプ光として、信号光と同じ波長を有するレーザ光を用い、且つ該レーザ光の偏光と前記光ファイバーから出射されたときの信号光の偏光とが直交することを特徴とする請求項1記載の光素子間光結合装置。

【請求項3】 前記位相共役波を発生させるためのポンプ光と信号光とを分離する手段として、偏光面を1/4回転させる相反及び非相反型のファラデー素子を対で用い且つ偏光ビームスプリッターを用いていることを特徴とする請求項1記載の光素子間光結合装置。

【請求項4】 前記光検出器として、量子非破壊導波路型検出器を用いたことを特徴とする請求項1記載の光素子間光結合装置。

【請求項5】 前記ポンプ光により信号光の増幅が可能であることを特徴とする請求項2記載の光素子間光結合装置。

【請求項6】 前記ポンプ光の出射口から前記フォトリフラクティブ結晶までの光学長と、このポンプ光による位相共役波が結合する媒体と該フォトリフラクティブ結晶までの光学長とが等しいことを特徴とする請求項2記載の光素子間光結合装置。

【請求項7】 第1の光素子からの信号光と第2の光素子からのポンプ光を位相共役鏡で作用させ、この信号光を、このポンプ光の位相共役波として第3の光素子に結合させることを特徴とする光素子間光結合装置。

【請求項8】 第1の光素子が光ファイバーであり第2の光素子が半導体レーザーであり第3の光素子が光検出器である請求項7記載の光素子間光結合装置。

【請求項9】 光検出器が導波型光検出器であり、半導体レーザーが該導波型光検出器と同様な導波路形状を有する半導体レーザーである請求項7記載の光素子間光結合装置。

【請求項10】 光検出器と半導体レーザーがモノリシックに形成されている請求項9記載の光素子間光結合装置。

【請求項11】 信号光が直線偏光であり、直線偏光を有する信号光を得る第1の光素子として偏波保存ファイバーを用いる請求項7記載の光素子間光結合装置。

【請求項12】 ポンプ光とその位相共役波を分離する手段として、 $\lambda/4$ 偏光面を回転させる相反、非相反型のファラデー素子対を用いる請求項7記載の光素子間光結合装置。

【請求項13】 信号光とポンプ光を位相共役鏡に入射さ

2

せる手段として、偏光ビームスプリッターを用いる請求項12記載の光素子間光結合装置。

【請求項14】 位相共役鏡として、フォトリフラクティブ効果の大きい結晶を用いる請求項7記載の光素子間光結合装置。

【請求項15】 第2の光素子のポンプ光の出射口から位相共役鏡までの光学距離と第3の光素子の入射口から位相共役鏡までの光学距離が等しい請求項7記載の光素子間光結合装置。

10 【請求項16】 信号光の増幅がポンプ光で可能な様に形成されている請求項7記載の光素子間光結合装置。

【請求項17】 第1の光素子からの信号光がTM光であり、ポンプ光がTE光である様に形成されている請求項7記載の光素子間光結合装置。

【請求項18】 双方向に伝送される信号光を第1と第2の光素子間で相互に結合する光素子間光結合装置において、第1の光素子からの光信号は、これに対する第1のポンプ光と位相共役鏡で作用して第1のポンプ光の位相共役波として第2の光素子に結合し、第2の光素子からの光信号は、これに対する第2のポンプ光と該位相共役鏡で作用して第2のポンプ光の位相共役波として第1の光素子に結合し、該位相共役鏡で、第1の光素子からの光信号と第1のポンプ光のとり第1の偏光状態と、第2の光素子からの光信号と第2のポンプ光のとり第2の偏光状態とが直交するように構成されていることを特徴とする光素子間光結合装置。

【請求項19】 第1と第2の光素子からの光信号が第1と第2の偏光状態の一方であり、第1と第2のポンプ光が第1と第2の偏光状態の他方であり、第1の光素子からの信号光と第2のポンプ光が通って前記位相共役鏡に入るところの第1の偏光状態変換手段と、第2の光素子からの信号光と第1のポンプ光が通って前記位相共役鏡に入るところの第2の偏光状態変換手段とが設けられて、第1と第2の偏光状態変換手段は、第1の光素子から第2の光素子へ方向とその逆方向とのうち一方の方向へ進む光に対しては第1の偏光状態と第2の偏光状態とを交換し他方の方向へ進む光に対して偏光状態を変化させない様に構成されている請求項18記載の光素子間光結合装置。

40 【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は、光通信（特に双方向光通信）の信号光をファイバーなどの光素子に結合させる為等に用いられる光素子間光結合装置に関する。

【0002】

【従来の技術】 従来、双方向に信号光を伝送し、その信号光の一部を光検出部に導いて電気信号に変換する装置が知られている。例えば、図5に示すように、基本的には信号光の一部を分離して光検出器53で電気信号に変換する光電変換装置がある。この種の装置では、一つの

50

伝送系内に多くの変換部がある場合には、信号光を増幅する必要が生じる。信号光の一部を取り出すための光分岐部52、信号光を増幅するための光アンプ部51では、各々の効率を向上させるために信号光は直線偏光であることが望まれ、光伝送路として偏波保存ファイバーなどが使われる。

#### 【0003】

【発明が解決しようとする課題】しかし、上記装置では、光検出器53でのSN比を向上させるために光検出器側に分離される信号光量を多くするので、光分岐部52での信号光の減衰が大きくなり、又光アンプ部51への信号光の結合効率(50%程度)も低いことから、アンプ内部でのゲインが20dB程度必要となる。このために自然放出光によるSN比の劣化などの問題点が生じていた。

【0004】そこで本発明は、信号光を光検出器及び光ファイバなどの光伝送路等に高効率で結合でき、ノイズの増加なしに信号光の増幅ができるなどの特長を持つ光通信伝送系などに用いられる光素子間光結合装置を提供することを目的とする。

#### 【0005】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成する本発明の要旨は、光ファイバー、光検出器などの第1の光素子からの信号光と半導体レーザー、光ファイバなどの第2の光素子からのポンプ光を位相共役波を発生する手段である位相共役鏡で作用させ、この信号光を、このポンプ光の位相共役波として第3の光素子に結合させることを特徴とする光素子間光結合装置にある。

【0006】より具体的には、双方向に信号光を伝送できる装置において、少なくとも光検出器及び光ファイバーを含む光素子に信号光を結合するためにフォトリフラクティブ結晶による位相共役波を用い、且つ一つの該フォトリフラクティブ結晶内で該光検出器からの信号光と該光ファイバーから出射された信号光の偏光が直交する様に構成されたり、位相共役波を発生させるためのポンプ光として、信号光と同じ波長を有するレーザー光を用い、且つ該レーザー光の偏光と前記光ファイバーから出射されたときの信号光の偏光とが直交したり、位相共役波を発生させるためのポンプ光と信号光とを分離する手段として、偏光面を1/4回転させる相反及び非相反型のファラデー素子を対で用い且つ偏光ビームスプリッターを用いたり、前記光検出器として、量子非破壊導波路型検出器を用いたり、前記ポンプ光により信号光の増幅が可能であったり、前記ポンプ光の出射口から前記フォトリフラクティブ結晶までの光学長と、このポンプ光による位相共役波が結合する媒体と該フォトリフラクティブ結晶までの光学長とが等しかったりする。

【0007】また、前記第1の光素子が光ファイバーであり第2の光素子が半導体レーザーであり第3の光素子が光検出器であったり、光検出器が導波路型光検出器であ

り、半導体レーザーが該導波路型光検出器と同様な導波路形状を有する半導体レーザーであったり、光検出器と半導体レーザーがモノリシックに形成されていたり、信号光が直線偏光であり、直線偏光を有する信号光を得る第1の光素子として偏波保存ファイバーを用いたり、ポンプ光とその位相共役波を分離する手段として、 $\lambda/4$ 偏光面を回転させる相反、非相反型のファラデー素子対を用いたり、信号光とポンプ光を位相共役鏡に入射させる手段として、偏光ビームスプリッターを用いたり、位相共役鏡として、フォトリフラクティブ効果の大きい結晶を用いたり、第2の光素子のポンプ光の出射口から位相共役鏡までの光学距離と第3の光素子の入射口から位相共役鏡までの光学距離が等しかったり、第1の光素子からの信号光がTM光であり、ポンプ光がTE光である様に形成されていたりする。

【0008】また、双方向に伝送される信号光を第1と第2の光素子間で相互に結合する光素子間光結合装置において、第1の光素子(ファイバー、光検出器など)からの光信号は、これに対する第1のポンプ光(レーザーなどからのもの)と位相共役鏡で作用して第1のポンプ光の位相共役波として第2の光素子(ファイバー、光検出器など)に結合し、第2の光素子からの光信号は、これに対する第2のポンプ光(レーザーなどからのもの)と該位相共役鏡で作用して第2のポンプ光の位相共役波として第1の光素子に結合し、該位相共役鏡で、第1の光素子からの光信号と第1のポンプ光のとり第1の偏光状態(TEモード、TMモードなど)と、第2の光素子からの光信号と第2のポンプ光のとり第2の偏光状態(TEモード、TMモードなど)が直交するように構成されていたり、第1と第2の光素子からの光信号が第1と第2の偏光状態の一方であり、第1と第2のポンプ光が第1と第2の偏光状態の他方であり、第1の光素子からの信号光と第2のポンプ光が通って前記位相共役鏡に入るところの第1の偏光状態変換手段(相反、非相反型ファラデー素子対などから成る)と、第2の光素子からの信号光と第1のポンプ光が通って前記位相共役鏡に入るところの第2の偏光状態変換手段(相反、非相反型ファラデー素子対などから成る)とが設けられて、第1と第2の偏光状態変換手段は、第1の光素子から第2の光素子への方向とその逆方向とのうち一方の方向へ進む光に対しては第1の偏光状態と第2の偏光状態とを交換し他方の方向へ進む光に対して偏光状態を変化させない様に構成されていたりする。

#### 【0009】

【作用】上記構成の本発明によれば、フォトリフラクティブ結晶などを用い二光束干渉による位相共役波を発生させ、二光束を構成する信号光とそれと同じ波長のポンプ光とを分離させることにより、多くの光学部品を微調整することなく信号光を所望の検出器、光ファイバなどに高効率で結合させることができる。更に、ポンプ光の

強度を増加することで、ノイズレスに信号光を増幅させられる。

【0010】なお、信号光とは、例えば連続もしくは結晶のフォトリフラクティブ効果の緩和時間よりも速い周期で変化する信号光等である。

【0011】

【実施例】図1及び図2は位相共役波及びその結合についての説明図である。

【0012】まず、位相共役鏡であるフォトリフラクティブ結晶において二光束干渉によって位相共役波を発生させるためには、ポンプ光と信号光の偏光とが一致していることが必要である（例えば、ポンプ光がTEモードなら信号光もTEモードであることが必要）。これら二つの光がフォトリフラクティブ結晶内で干渉して、光強度の周期的変化を生ずる。これによってキャリアが生じ、更にキャリアが拡散して発生する空間電界により、屈折率の周期的変化が生じる。

【0013】本発明で用いる位相共役波は、例えば信号光の位相共役波であり、信号光が通過して来た経路と全く同じ経路を逆行する性質がある。但し、この位相共役波は、信号光が反射されて生じるのではなくポンプ光が回折されて生じるのである。このため、例えば信号光がファイバから出射されるとすると、ポンプ光が信号光の位相共役波として極めて高効率で同ファイバに結合できるのである。又、信号光の位相共役波の強度はポンプ光強度に比例するので、信号光が微弱な場合でもポンプ光強度を増加することで信号光の増幅が可能である。

【0014】以下に示す本発明の実施例を説明する準備として、更に、位相共役鏡ないしダブル位相共役鏡(DPCM)の原理について図1を用いて説明する。同図において、1はフォトリフラクティブないし光誘起屈折率効果(photorefractive effect, 以下PR効果と言う)を有する電気光学結晶である。ここで、PR効果とは光照射により結晶1中に空間電界分布が生じて、線形電気光学効果(ポッケルス効果)により屈折率の変化が生じる現象である。この様なものとして、強誘電体電気光学結晶であるチタン酸バリウム等や半導体電気光学結晶であるGaAs等があるが、ここでは、チタン酸バリウムを例にとって説明する。図1において、チタン酸バリウム結晶1のc軸が適当な方向に配置された場合には、入射光束(信号光)が結晶1の中で散乱されるが、その散乱光と入射光束とで結晶1中に多くの屈折率格子が形成される。この場合、散乱光が入射光束との間で(2波結合と呼ばれる)非線形な相互作用によりエネルギーの交換が行なわれて、散乱光に入射光束のエネルギーが移っていく。一方、図の左側から他の入射光束(ポンプ光)が結晶1に入射すると、この光束によっても結晶1中でその散乱光により屈折率格子が形成され、この入射光束のエネルギーが散乱光に移行していく。この様な過程において、2つの入射

光束(信号光とポンプ光)が夫々の散乱光とで形成した屈折率格子群のうち、共通の屈折率格子が互いの入射光束を回折させて、この共通の屈折率格子を強調するという誘導散乱を引き起こす。この為に、定常状態ではこの様な共通の屈折率格子のみが生き残ることになる。ここで注意すべきことは、該屈折率格子は一方の入射光束(信号光)とその散乱光及び他方の入射光束(ポンプ光)とその散乱光とで形成されたものである為に、入射光束(信号光とポンプ光)は互いにコヒーレントである必要はないと言うことである。

【0015】それ故に、2つの入射光束が同時に結晶1中に存在する時には、入射光束が互いにインコヒーレントであってもそれらの散乱光は、夫々、2つの入射光束の位相共役波となる。更に、これら位相共役波のエネルギーは、2つの入射光束から来ている(即ち、2つの入射光束の該屈折率格子による回折光となっている)ことに大きな特徴がある。つまり、信号光側への位相共役波は、そのエネルギーを他方の入射光束(ポンプ光)から受けるが入射光束(信号光)の時間反転波となっており、ポンプ光側への位相共役波は、そのエネルギーを一方の入射光束(信号光)から受けるが入射光束(ポンプ光)の時間反転波となっている。以上の理論及び実験の詳細は、文献「B. Fischer et al., IEEE J. Quantum Electron. QE-25, 550-569 (1989)」に述べられている。

【0016】図2には、導波型光検出器3から出射された信号光2(この検出器3に入射して出てきたもの)と偏波保存ファイバ7から出たポンプ光6とがPR結晶1に入射し、これら二つの光2, 6によって発生した位相共役波4(ポンプ光6の位相共役波4のみが示されているが信号光2のそれも存在する)が、偏波保存ファイバ7と同じ光ファイバ5に結合する過程が示されている。

【0017】図示するように、偏波保存ファイバ7からPR結晶1までの光学長と、PR結晶1から光ファイバ5までの光学長とが、同じになる位置で、信号光の成分をもつ位相共役波4が集光する先に、光ファイバ5を設置することで、光検出器3から出た信号光2は、ポンプ光の位相共役波4としてファイバ5に高効率で結合する。このとき、ビームスプリッター8で、位相共役波4とポンプ光6とが同じ偏光であるなら、この二つを分離することはできない。このことから、双方向の光伝送を可能にするためには、この部分(ビームスプリッター8)で二つの偏光を直交させる手段を設けることが必要となる。その直交手段により双方向通信を可能にした実施例を図3に示す。

【0018】以下に、図3を用いて本発明の第一の実施例について説明する。図3は、第一の実施例の光結合装置の概略構成図である。

【0019】図示するように、夫々、信号光用ファイバ

7

5, 5' からPR結晶1, 1' までの光学長と結晶1, 1' からポンプ光用の光ファイバ7, 7' までの光学長とが等しく、PR結晶1, 1' で発生する位相共役波（夫々、光ファイバ7, 7' からの第1のポンプ光（ポンプ光1という）のものと、光ファイバ1, 1' からの信号光のもの）の光軸上に、光ファイバ1, 1', 7, 7' の中心が置かれている。また、導波型低損失光検出器3の出入端からPR結晶1までの光学長と、第2のポンプ光（ポンプ光2という）を出す半導体レーザ10の出射端からPR結晶1までの光学長とが同じである。そして、光検出器3の出入端が、半導体レーザ10からのポンプ光2の位相共役波の光軸上にある。

【0020】尚、導波型低損失光検出器3は、一端からの信号光が他端からほぼそのまま出てゆく量子非破壊光検出器であるのが好ましい（これについては、例えば、特願平2-45085に示される）。又、半導体レーザ10の出力波長は、ポンプ光2及び信号光と同じである。

【0021】本実施例では、偏光面を回転させる相反・非相反のファラデー素子11, 12; 14, 15: 11', 12'; 14', 15' を対で用いている。このため、双方向の信号光の進行方向で偏光面が90°回転し、逆側では0°になり光はそのまま透過する。従って、左の偏波保存ファイバ5から出た信号光（信号光はTMモード、ポンプ光1, 2はTEモードとする）は、ビームスプリッター8を通過しファラデー素子対14, 15でTEモードに変換されてPR結晶1に入射する。一方、レーザ10から出射するポンプ光2は、ビームスプリッター9で折り返されて、ファラデー素子対11, 12で偏光を変えられることなく結晶1に入射する。その結果、ポンプ光2の位相共役波（ここではTEモード）を発生する。この位相共役波は、ファラデー素子対11, 12で偏光面を90°回転されてTMモードになり、ビームスプリッター9で検出器3側に反射されてTMモードで検出器3に結合される（TMモードは導波路のサブバンド間を励起して光を検出するタイプのものに有効である）。検出器3内での導波光の減衰分は、レーザ10からのポンプ光2の強度を増加することで補える。

【0022】この検出器3から図3右側へ出射された信号光は、ビームスプリッター9' で折り返されて、ファラデー素子対11', 12' で偏光を変えられることなくTMモードで結晶1' に入射する。このとき、対向するファイバ5' 側からの信号光と、これと結晶1' で干渉して位相共役波を発生させるためのレーザ10からのポンプ光2とは、前述したようにPR結晶1' においてTEモードなので、これらの光と検出器3から結晶1' に入る信号光との間で位相共役波を発生させることはない。一方、偏波保存ファイバ7' からのポンプ光2（TEモード）はその前のファラデー素子対18' では

8

偏光を変えられずビームスプリッター8' で折り返され、次のファラデー素子対14', 15' でTMモードに変換される。従って、このポンプ光2と光検出器3からの信号光は結晶1' で干渉して信号光の情報を持つポンプ光2の位相共役波がTMモードで発生する。この位相共役波はファラデー素子対14', 15' で偏光は変えられずビームスプリッター8' で折り返されずに右側にある偏波保存ファイバ5' に結合する。こうして、図3左側のファイバ5からの信号光は、検出器3で検出されると共に、高効率で右側のファイバ5' に結合されて左から右へと伝送される。この場合の各光の偏光状態を、図3の二重線の矢印の横の表示で示す。

【0023】右側のファイバ5' から左側のファイバ5へ伝送される信号光の伝送及び光検出も同様である。この場合の各光の偏光状態は、一重線の矢印の横の表示で示す。

【0024】尚、本実施例では、ファラデー素子の対11, 12; 14, 15: 11', 12'; 14', 15' が、図2及び図3のビームスプリッター8, 8'; 9, 9' においてポンプ光1とその位相共役波、ポンプ光2とその位相共役波の偏光状態を直交させ、更にPR結晶1, 1' において左から右への信号光とそれに対するポンプ光の偏光状態と、右から左への信号光とそれに対するポンプ光の偏光状態とを直交させるための手段に相当する。又、本実施例では、ファイバ7, 7' の前にあるファラデー素子対18, 18' は、レーザ10の光を除くために用いたが、レーザ10の両側にもファラデー素子対を置きファイバ7, 7' からの光（これらは共にTEモードである）を除くように構成してもよい。

【0025】次に、第2実施例について説明する。図4は第2実施例の光結合装置の概略説明図である。

【0026】図示するように、第2実施例では、導波型光検出器及び半導体レーザが夫々2個ずつ用いられる。例えば、一方の半導体レーザB' は左側に、他方の半導体レーザA' は右側に、夫々レーザ光を出力するように構成されている。尚、導波型光検出器の導波路Aと半導体レーザA' との、そして導波型光検出器の導波路Bと半導体レーザB' との位置関係・形状は、第1実施例と同じである。

【0027】上記のように構成されているので、図4において左側のファイバ5からの信号光は、導波型光検出器の導波路Bに、右側のファイバ5' からの信号光は、導波型光検出器の導波路Aに、夫々結合する。つまり、左右のファイバ5, 5' からの信号光を容易に分離して読み出すことができる。従って、左右のファイバを経て送信されてきた信号列が相当に詰まっても読み出すことができる。

【0028】なお、図4において、図3と同符号のものは同部材ないし素子であることを示す。

50

【0029】以上説明したように、第1及び第2の実施例では、以下に列挙する効果を奏する。

【0030】1) 位相共役波を利用するので、各光素子の位置決めが容易である。

2) 現在のプロセス技術で容易に作製できる光検出器、半導体レーザをモノリシックに構成するので、熱の影響を抑制することができる。

3) 光検出器を量子非破壊検出器(QND)にするので、光損失を大幅に低減することができる。

4) レーザ光のパワーを上げるだけで信号光の増幅が簡単にできる。

5) 信号光の増幅に伴ってノイズが増えないので、光通信でのSN比を良好に保つことができる。

【0031】

【発明の効果】以上詳述したように本発明によれば、PR結晶などの位相共役鏡を用い二光束干渉による位相共役波を発生させ、その位相共役光を光伝送路等に光結合させるので、多くの光学部品を微調整することなく信号光などの所望光を所望の検出器、光ファイバなどの伝送路に高効率で結合させることができる。更に、ポンプ光の強度を増加することで、ノイズの増加なしに信号光を増幅させることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】位相共役の説明図である。

【図2】位相共役波の結合についての説明図である。

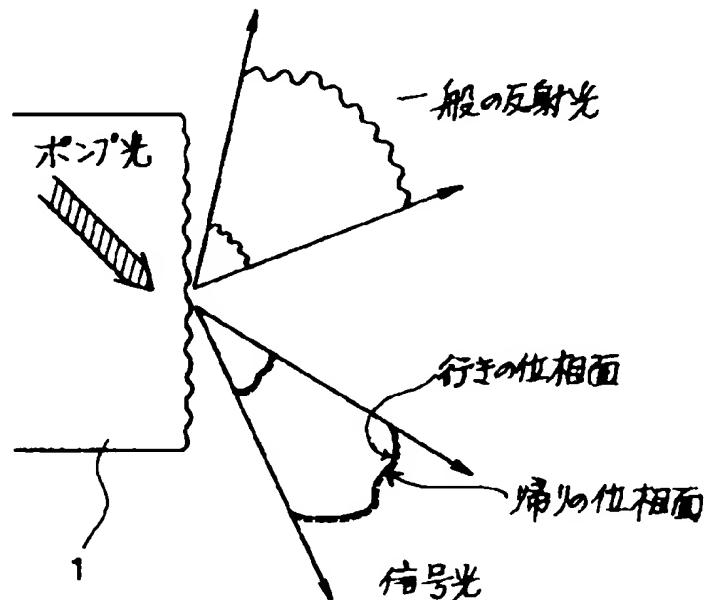
【図3】第1実施例の概略構成図である。

【図4】第2実施例の概略構成図である。

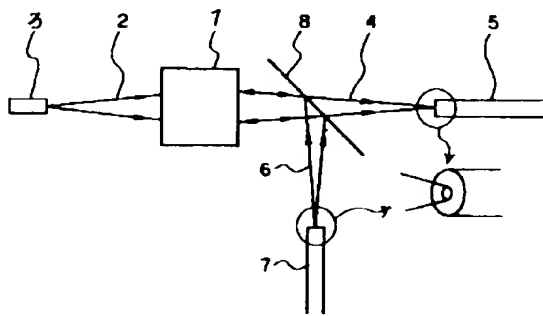
【符号の説明】

1, 1'	フォトリフラクティブ結晶
2	信号光
3, A, B	光検出器
4	ポンプ光6の位相共役波
5, 5', 7, 7'	光ファイバ
8, 8', 9, 9'	偏光ビームスプリッタ
10, A', B'	半導体レーザ
11, 11', 14, 14'	非相反ファラデー素子
12, 12', 15, 15'	相反ファラデー素子
18, 18'	ファラデー素子対
51	光アンパ部
52	光分岐部
53	光検出部

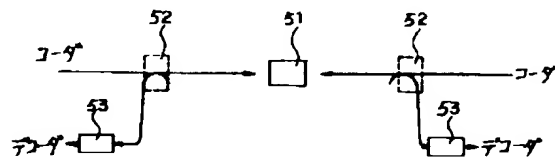
【図1】



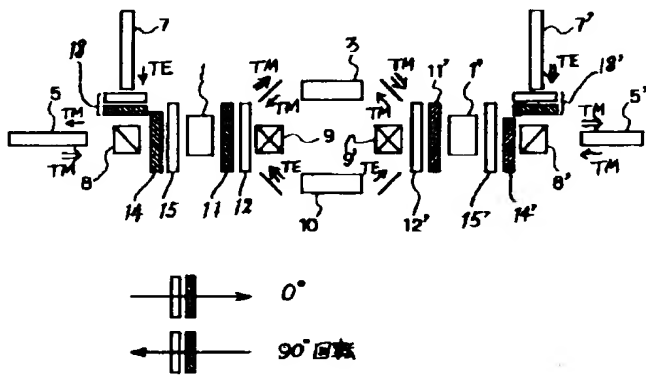
【図2】



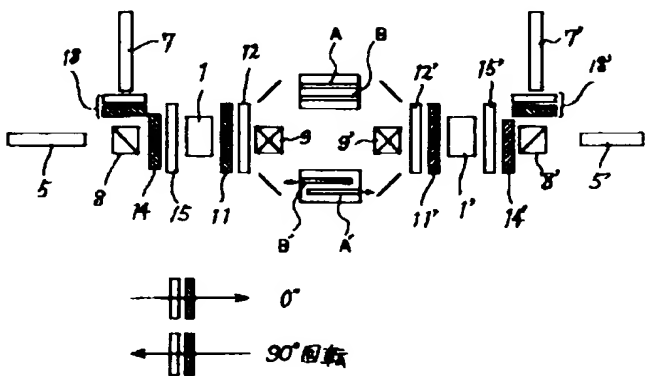
【図5】



【図3】



【図4】



【手続補正書】

【提出日】平成4年11月16日

【手続補正1】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】図面の簡単な説明

【補正方法】変更

【補正内容】

【図面の簡単な説明】

【図1】位相共役の説明図である。

【図2】位相共役波の結合についての説明図である。

【図3】第1実施例の概略構成図である。

【図4】第2実施例の概略構成図である。

【図5】従来の光電変換装置例の説明図である。



## 【符号の説明】

1, 1 <sup>-</sup>	フォトリフラクティブ結	10, A <sup>-</sup> , B <sup>-</sup>	半導体レーザ
晶		11, 11 <sup>-</sup> , 14, 14 <sup>-</sup>	非相反ファラデー素子
2	信号光	12, 12 <sup>-</sup> , 15, 15 <sup>-</sup>	相反ファラデー素子
3, A, B	光検出器	18, 18 <sup>-</sup>	ファラデー素子対
4	ポンプ光6の位相共役波	51	光アンプ部
5, 5 <sup>-</sup> , 7, 7 <sup>-</sup>	光ファイバ	52	光分岐部
8, 8 <sup>-</sup> , 9, 9 <sup>-</sup>	偏光ビームスプリッタ	53	光検出部